

Лекция 9

Механизмы программной регуляции в биологических объектах. Компоненты двигательной системы и запрограммированные действия. Биологическое управление

Сложная клеточная механика сенсорной (чувствительной) и моторной (двигательной) систем основана на кооперации между многими взаимосвязанными клетками, которые совместно осуществляют ряд последовательных актов, как при работе на конвейерной линии. В этом процессе мозг постоянно анализирует сенсорную информацию и руководит телом для осуществления наилучшей реакции - например, чтобы найти тень от жары, укрытие от дождя или осознать, что безразличный взгляд незнакомца, не содержит в себе угрозы.

Все части сенсорных систем и в простых, и в сложных нервных системах включают как минимум следующие компоненты: 1) детекторы стимула - специализированные рецепторные нейроны; 2) первичный воспринимающий центр, куда сходится информация от группы детекторных блоков; 3) один или большее число вторичных воспринимающих и интегрирующих центров, получающих информацию от первичных воспринимающих центров. В более сложных нервных системах интегрирующие центры связаны друг с другом. Взаимодействие этих центров и создает восприятие.

Сенсорная система начинает действовать тогда, когда какое-либо явление окружающей среды - стимул, или раздражитель, воспринимается чувствительными нейронами или первичными сенсорными рецепторами. В каждом рецепторе воздействующий физический фактор (свет, звук, тепло, давление) преобразуется в потенциал действия. Потенциалы действия, или нервные импульсы, отображают сенсорные стимулы в виде клеточных сигналов, которые могут быть подвергнуты дальнейшей переработке нервной системой.

Нервные импульсы, генерируемые рецепторами, передаются по сенсорному волокну в воспринимающий центр, ответственный за данный вид ощущений. Как только импульсы достигают первичной зоны переработки, из деталей сенсорных импульсов извлекается информация. Само поступление импульсов означает, что произошло событие, относящееся к данному сенсорному каналу. Частота импульсов и общее число рецепторов, передающих импульсы, отражают силу стимула и размеры воспринимаемого объекта. При восприятии цветка, например, происходит выделение его цвета, формы, размера и расстояния до него. Эта и другая информация затем передаются из первичных зон обработки во вторичные, где формируются дальнейшие суждения о воспринимаемых событиях.

В последующих интегративных центрах сенсорной системы может добавляться информация из других источников ощущений, а также информация памяти о сходном прошлом опыте. В какой-то момент природа и значение того, что мы ощущаем, определяются в результате осознанной идентификации, которая называется восприятием. После этого наступает время для ответного действия, если оно требуется.

Сенсорные системы перерабатывают информацию, поступающую в мозг, а моторные системы - информацию, идущую от мозга к мышцам. Но структурная организация тех и других систем обнаруживает черты сходства. Работой отдельных мышц управляют группы двигательных нейронов, или мотонейронов. Мотонейроны контролируются клетками двигательных интегрирующих областей, которые находятся под контролем еще более сложных двигательных центров.

В моторной системе главный поток информации направлен от двигательной коры к периферии, где работают мышечные структуры - эффекторы, осуществляющие движение.

Двигательная система включает ряд иерархических уровней и путей параллельной обработки информации. Для эффективности ее работы

необходимы сенсорные проекции тела в мозге. Все это относится к движениям любого тина.

Рефлекторные движения. Автоматическая стереотипная, целенаправленная реакция организма на стимул а 1771 г. физиологом Унцером была названа рефлексом.

Рефлексы бывают врожденные (безусловные по И.П. Павлову) - кашлевый, глотательный, реакция отдергивания и т.д., а также приобретенные в течение жизни (условные). В большинстве случаев мы их даже не осознаем. Это рефлексы прохождения и переваривания пищи, дыхания, кровообращения и т.д.

Запрограммированные движения. Организация движений не всегда основана на рефлексах. Еще один пример циклического процесса, регулируемого нервной системой даже в отсутствие всяких внешних стимулов, - дыхание. Такие последовательности движений, поддерживаемые ЦНС без внешней стимуляции, называются запрограммированными, или автоматическими. Даже нейронные сети, связанные только со спинным мозгом (проприоспимальная система), могут обеспечивать выполнение многих двигательных программ, требующих только первоначального запуска каким-то раздражителем.

После того как была обнаружена способность ЦНС к такой деятельности, быстро получила признание гипотеза, согласно которой регулируются движения в основном *программами*, а не рефлексами, и представление о программной организации ЦНС стало общепринятым. Дыхание, ходьба, чесание - все это примеры врожденных программ, к которым в течение жизни индивида добавляется множество приобретенных. Среди последних есть спортивные или профессиональные навыки (гимнастические движения, печатание на машинке и т.п.), становящиеся в результате соответствующей практики почти автоматическими.

Позные и целенаправленные функции. Другой важный момент состоит в том, что значительная часть нашей мышечной деятельности направлена не на

осуществление движений во внешней, среде, а на принятие и поддержание позы, положение тела в пространстве. Без контроля позы со стороны двигательной системы человек беспомощно рухнет на землю.

Кроме того, двигательная система управляет всеми целенаправленными движениями тела во внешней среде. Они всегда сопровождаются работой и реакциями позных механизмов, идет ли речь о подготовке к движению или о коррекции позы во время или после движения, Тесная взаимосвязь между позными и целенаправленными функциями - фундаментальное свойство двигательной системы.

Спинальные двигательные системы. В спинном мозге сенсорные афферентные волокна образуют множество связей с мотонейронами, главным образом через интернейроны. От того, какие связи задействованы, зависят активации или торможение определенных движений.

Сам термин «рефлекс» подчеркивает, что каждое рефлекторное движение стереотипно и возникает в результате сенсорного раздражения, как бы отраженного спинным мозгом. Однако такое определение следует расширить с учетом центральной модуляции и тормозных эффектов. Под спинальным рефлексом правильнее понимать изменение нейронной активности, вызываемое спинальными афферентами и приводящее к запуску или торможению движения. Такие рефлексы составляют как: бы «библиотеку» элементарных позных и двигательных программ, которые могут в широком диапазоне модифицироваться, интегрируясь в преднамеренное движение. Организм использует нужные программы, не привлекая высшие нервные центры к разработке деталей на выполнения.

Высшие двигательные системы. В эту категорию входят все супраспинальные центры, участвующие в двигательной регуляции. Позные функции и их координация с целенаправленными движениями контролируются главным образом структурами ствола мозга, а сами целенаправленные движения требуют участия еще более высоких уровней. Побуждение к действию (драйв) и стратегия движения формируются в

подкорковых мотивационных областях и ассоциативной коре, затем преобразуются в программы движения, а те передаются в спинной мозг, и оттуда к скелетным мышцам для реализации.

Биологическое управление

Как наука об управлении и связи в живом организме и машине кибернетика занимается не только установлением аналогий между техническими и биологическими системами, но и вопросами взаимосвязи этих систем. Рассмотрим возможность использования биологической информации, непосредственно получаемой от живого организма для управления техническими системами.

Использование биологической информации с целью управления открывает большие перспективы в различных областях техники, где существенную роль играют человеческие факторы. В частности, проблемы медицинского приборостроения уже не могут в настоящее время рассматриваться без учета возможностей применения принципов биологического управления,

История биоуправления восходит к 1958 г., когда на брюссельской всемирной выставке демонстрировалась «искусственная рука», созданная В.С. Гурфинкелем, Е.А. Кобринским, А.Я. Сысиным и др.

Токоъемник для отведения мышечных биопотенциалов был осуществлен в виде браслета, на котором были укреплены металлические чашечки, заполненные токопроводящей пастой. Браслет можно надевать на руку так, что чашечки подобно электродам при регистрации электрокардиограмм, могут устанавливаться в заданных точках. Отводимые с помощью браслета биопотенциалы мышц усиливаются электронным усилителем и подаются на вход выпрямительного устройства, затем поступают в интегрирующий блок, где формируется управляющий сигнал, мощность которого пропорциональна значению мощности биотоков. Сигналы управления воздействуют на катушки электрических дросселей,

которые осуществляют управление гидроприводом, приводящим в движение искусственную руку. *Трудности разработки* протезов с биоэлектрическим управлением связаны прежде всего с необходимостью дифференцировать полезный сигнал от помехи, создаваемой соседними мышцами. Другая трудность состоит в необходимости учитывать не только биотоки, возникающие в мышце, непосредственно осуществляющей заданную операцию, но и в мышцах-антагонистах.

Системы биологического управления могут быть двух видов; а) произвольного (мысленного) управления, как, например, «искусственная рука»; б) непроизвольного управления, где в качестве управляющих сигналов используют биотоки сердца, головного мозга, дыхания и т.п.

Система биологического управления состоит из трех частей: 1) блока сбора информации; 2) блока преобразования информации в форму, пригодную для управления исполнительными механизмами; 3) исполнительный механизм.

Получение от биологического объекта информации для управления связано с определенными трудностями, поскольку необходимо эффективное разделение сигнала и помехи. Например, при управлении биопотенциалами мышц требуется выделить сигналы конкретной мышцы. Сигнал должен иметь определенную мощность. Преобразование в сигналы управления - это по существу кодирование информации. В зависимости от конструкции исполнительного механизма сигналы управления могут иметь аналоговую или дискретную форму. В некоторых случаях требуется обеспечить только два положения эффекторного устройства - включено и выключено. В других случаях осуществляется плавное изменение состояния исполнительного механизма с линейной зависимостью от управляющего сигнала, например при слежении. Применяют не только электропривод, но и другие способы управления эффектором, например, пневматические.

Наибольшие успехи в настоящее время достигнуты в области произвольного управления при помощи мышечных биопотенциалов в связи с

протезированием верхних конечностей. Однако использование мышечных биопотенциалов для целей управления не ограничены только протезированием. Известны дистанционные манипуляторы, различные роботы, системы защиты, системы регулирования глубины наркоза, кардиостимуляции и т.д. При этом используется не только мышечные биопотенциалы, но и потенциалы головного мозга.

Биоуправление нельзя путать с телемеханическим управлением, при котором воздействие на процесс производится через джойстики, мнеморукояти - штурвалы, суставчатые датчики и т.д. В этом случае мы имеем дело с обычным копированием движений, которые нужно усилить либо увеличить по длине. На этом принципе работают лабораторные и грузоподъемные манипуляторы, манипуляторы управления двигателями скафандров для работы космонавтов в открытом космосе, манипуляторы-усилители для подъема и переноса тяжестей, например, для переноса и переукладки тяжелооболочных (экзокаркасы) и т.д.

Система биологического управления гораздо разнообразнее телемеханического или копирующего, в ее основе лежит процесс выделения и преобразования нужных биопотенциалов. Наибольшее распространение получило биоэлектрическое управление, т.е. биотехническая система, в которой взаимодействие живого организма с техническими устройствами осуществляется посредством биоэлектрических командных сигналов, либо биоэлектрических СИГНАЛОВ, циркулирующих в контуре обратном с связи.



Рис. 1. Структура равных управляющих процессов